

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ

Ахметзянов Г. Д.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Мадвейко С.И. – к. т. н, доцент, заведующий кафедрой электронной техники и технологии

Аннотация. Представлены результаты обзора различных конструкций систем ионно-лучевого ассистирования, рассмотрены принципы работы таких устройств, их достоинства и недостатки.

Ключевые слова. Ионные источники.

Введение. Для образования ионов, используемых при бомбардировке поверхности распыляемой мишени, между анодом и катодом в вакуумной камере создается тлеющий разряд. Он характеризуется наличием двух основных областей: небольшой по протяженности прикатодной, в которой сосредоточено основное падение потенциала, называемое прикатодным падением потенциала и области столба разряда, представляющей собой сильно ионизированный газ - плазму с высокой проводимостью. При сближении электродов анода и катода, в первую очередь, уменьшается протяженность положительного столба разряда. Электроны могут выходить из катода под действием фотоэмиссии. Для увеличения плотности эмиссии электронов применяют термоэмиссионные катоды. В сильном электрическом поле катодного падения потенциала электроны набирают энергию, определяемую напряженностью электрического поля и их подвижностью в данной области. Ионизация ведет к образованию положительных ионов газа. Ионы устремляются к мишени, на которую подан отрицательный потенциал относительно плазмы разряда, и распыляют ее [1].

Явление физического распыления обусловлено передачей ускоренным ионом атому мишени энергии, превышающей пороговую энергию смещения, последующим перемещением атома в направлении к поверхности мишени и вылетом из нее. Основным механизмом катодного распыления является процесс передачи импульса либо путем непосредственного столкновения ускоренного иона с атомом мишени, либо путем ряда вторичных столкновений первично смещенных атомов. Очевидно, что при нормальном падении ионного пучка на мишень распыление может происходить только при последовательных вторичных столкновениях [1].

Основная часть. Процессы с использованием ионного луча включают широкий диапазон уникальных видов применения. Способность независимо контролировать энергию, размер и массу ионов в пределах нескольких порядков придает этим процессам большую степень гибкости. Уровень энергии луча может находиться в пределах от мегаэлектронвольт, который обычно используется в спектроскопии резерфордовского рассеяния быстрых ионов для композиционного анализа материалов и вплоть до всего нескольких электронвольт для обработки плазмой. Размеры луча могут колебаться от микронов в системах фокусированного ионного луча до десятков сантиметров в установках для ионной имплантации и технологии широкого ионного луча. Масса ионов луча может также колебаться от массы протонов (ионизированный водород) до теоретически массы самого тяжелого элемента периодической таблицы. Рамки настоящего подраздела ограничиваются широкими лучами ионов низкой энергии (50 эВ – 2 кэВ), которые используются для травления и осаждения тонких пленок в исследованиях и производственных условиях [2].

Рассмотрим ионные источники, широко применяемые в микроэлектронике. Производство тонких пленок с тех пор адаптировало технологию для удовлетворения потребностей широкого спектра видов применения. Промышленные источники широкого ионного луча состоят из двух главных компонентов: разрядной камеры, где образуется плазма, некоторого вида экстракционной оптики, ускоряющего и направляющего положительные ионы из плазмы в направлении подложки или мишени. Значительным отличием обработки ионным лучом и другими плазменными процессами является то, что плазма поддерживается удаленно от камеры обработки. Диаметр оптики (и лучей) в коммерческих источниках находится в пределах от 1 см до приблизительно 40 см. Два наиболее широко используемых метода генерации плазмы определяют два типа ионных источников: ионный источник постоянного тока Кауфмана (рисунок 1) и ионный высокочастотный источник. Оптика для каждого является почти идентичной и во многих случаях взаимозаменяемой [2].

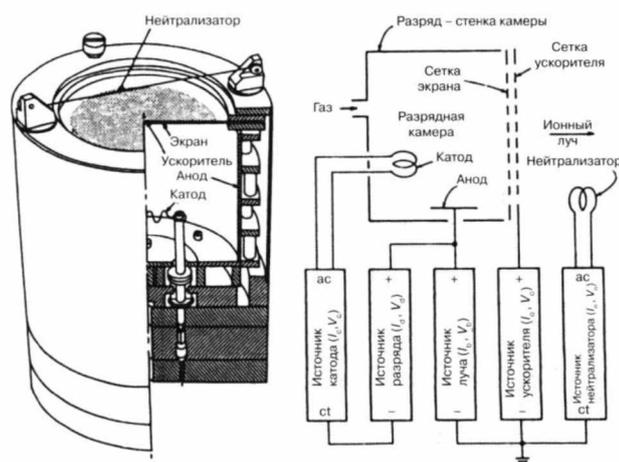


Рисунок 1 – Ионный источник постоянного тока Кауфмана (а) и схема его источника питания (б) [2]

Помимо источников постоянного тока существуют источники ионных пучков типа анодного слоя (рисунок 2), являющиеся очень надежными устройствами, которые могут работать с широким спектром газов и смесей. Они не нуждаются в дополнительном нейтрализаторе для компенсации заряда и поэтому могут непрерывно работать на химически активных газах (кислород, воздух, галогены и т. д.). Конструкция ионного источника обеспечивает его легкую и быструю разборку, что удобно при обслуживании [3].



Рисунок 2 – Ионно-лучевой источник с анодным слоем - EPOS-IS-AL [3]

Также среди ионных источников рассматриваются ионно-лучевые испарители (рисунок 3).



Рисунок 3 – Ионно-лучевой испаритель (ИЛИ) – Ионно-лучевая пушка [4]

Источник разработан и произведен компанией ООО «ПТП» как совершенно новое изделия, для нанесения любых материалов на различные поверхности с возможностями, не имеющими аналогов ни у одного из устройств в мире применяемых в данный момент [4].

Устройство объединило способы нанесения материалов и по многим параметрам превосходит используемые в вакуумном пространстве способы (ионное-лучевое нанесение, магнетронное распыление, дуговое напыление, лазерная абляция) [4].

Ионно-лучевой испаритель при фокусировке многокаскадного ионного потока позволяет контролировать процесс напыления (поток напыляемых частиц), наносить любой материал и смеси на любую поверхность, не изменяя стехиометрию мишени (исходного напыляемого материала). Уникальность устройства также позволяют в одном цикле произвести подготовку (очистку, травление) и нанести несколько различных слоев, сменяя мишени с наносимым материалом. Используя функцию изменения фокуса потока ионов возможно изменять скорость и объём переносимых частиц, контролировать толщину пленок наносимого материала, вплоть до толщин в несколько нанометров [4].

Другой тип источника широкого ионного луча, который используется главным образом при осаждении и предварительной очистке с помощью ионов, – это источник ионов с постоянным магнитом, представленный на рисунке 4. Этот тип источника ионов был первоначально разработан в Советском Союзе в рамках программы исследований в области космических систем двигателей для преодоления текущих ограничений по плотности при низких уровнях энергии, налагаемых экстрационной оптикой в сеточном источнике ионов. Потенциал ускорения для ионов в источнике с постоянным магнитом развивается циркулирующим током в магнитном поле. Постоянный магнит с высокой точкой кюри обеспечивает магнитное поле в ныне действующих коммерческих конструкциях, позволяя источнику ионов и источнику питания быть простым и надежным. Источник электронов может представлять собой либо нагреваемую вольфрамовую нить, либо источник электронов типа полого катода, который рассматривается ниже [2].

Типичными характеристиками луча является высоко расходящийся луч (полуугол ~ 45°), низкие напряжения на электродах (50 – 250 В) высокие плотности тока (несколько мА/см² на источнике) и низкие уровни ионной энергии (30-120 эВ). Кроме круглых источников с постоянным магнитом, как показано на рисунке 4, источники могут конструироваться в виде линейной конфигурации для непрерывной подачи. Линейные источники длиной 20 см и 50 см соответственно показаны на рисунке 5, существуют также источники длиной до 1 метра^[2]. К такому типу ионных источников больше всех приближен ионно-лучевой источник «Стрелок-3».

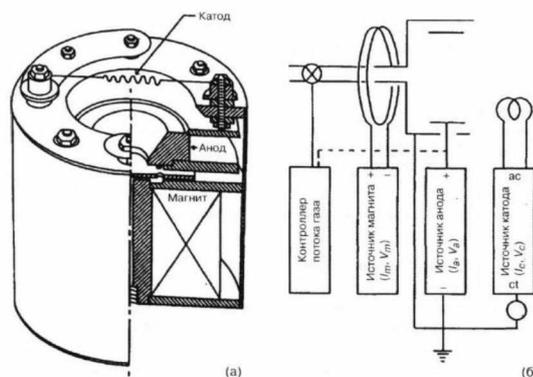


Рисунок 4 – Ионный источник с постоянным магнитом (а) и схема конфигурации источника питания. Обратите внимание на то, что источник магнита часто исключается благодаря использованию постоянных магнитов [2]

Ионный источник «Стрелок-3»^[5] по своему принципу действия представляет собой ионный источник типа торцевой холловский ускоритель. В источниках этого типа ионизация атомов или молекул исходного вещества осуществляется в скрещенных электрическом и магнитном полях (ВЕ-разряд). Источником электронов для инициации и поддержания разряда является термокатод. Образовавшиеся ионы ускоряются вдоль оси источника в направлении термокатода, создавая расходящийся ионный пучок. Поскольку зоны генерации и ускорения ионов совмещены, ионный пучок является скомпенсированным [4].

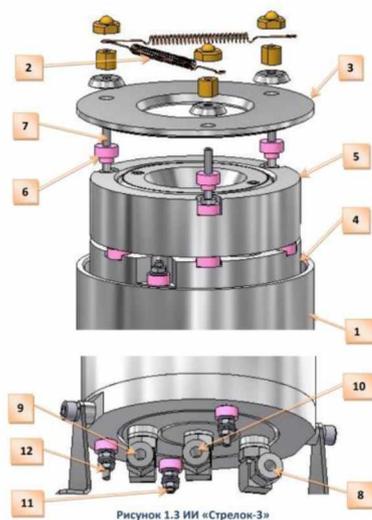


Рисунок 5. Ионный источник «Стрелок-3»

- 1 - Корпус (катод) 2 - Термокатод 3 - Катодная накладка 4 - Основание (плавающий потенциал) 5 - Анод 6 - Изолятор 7 - Шпилька 8 - Фитинг системы охлаждения 9 - Фитинг системы охлаждения 10 - Фитинг системы газовой 11 - Контакт подачи питания на анод (желтый) 12 - Контакт подачи питания на термокомпенсатор [4]

Данный вариант наиболее оптимален, поскольку при модернизации [4]:

- Снижен расход газа благодаря примененным техническим решениям.
- Применённая в источнике магнитная система на постоянных магнитах позволила уменьшить габариты и сократить число блоков питания.
- Оригинальная система водяного охлаждения позволяет избежать перегрева при максимальной мощности работы, несмотря на малые габариты источника.
- Удобство профилактики.

–Предусмотрена возможность быстрого снятия загрязняющихся в процессе работы частей для периодической чистки без извлечения источника из вакуумной камеры и без отсоединения линий подачи электроэнергии, газа и воды.

–В составе источника может использоваться быстрозаменяемый термокатод – вольфрамовая нить или плазменно-мостовой нейтрализатор на основе разряда в скрещенных $E \times H$ полях (опция).

–Источник снабжен блоком питания оригинальной разработки может управляться в ручном и автоматическом режимах. Кроме обеспечения источника питающими напряжениями, блок питания управляет работой натекателя, осуществляющего подачу рабочего газа.

–Источник прост в сборке и не требует сложной юстировки.

Заключение. Исходя из выше рассмотренных вариантов устройств ионно-лучевой обработки можно сделать вывод, что оптимальным вариантом для нанесения тонкопленочных покрытий на оптические детали диаметром до нескольких сантиметров в низкотемпературных условиях является источник «Стрелок-3», представляющий из себя торцевой холловский ускоритель с постоянным магнитом.

Список литературы

1. Сысоев И. А., Письменский М.В. *Технология получения тонкопленочных структур для оптоэлектроники* / Новочеркасск, 2006.
2. Петухов В.Ю., Гумаров Г.Г. *Ионно-лучевая технология.* / Под. ред. Таланова Ю.И.; Казань, 2010.
3. *Ионно-лучевой источник с анодным слоем (epos-nsk.ru).*
4. *Группа компаний АТi - Ионно-лучевой испаритель (ИЛИ) – Ионно-лучевая пушка. (at-ind.ru).*
5. *Источник ионно-лучевой модели «Стрелок-3» / ООО «Изовак»; Минск, 2019.*

UDC 533.9.07

REVIEW OF EXISTING DESIGNS OF ION-BEAM TREATMENT DEVICES

Ahmetzianau H. D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Madveika S.I. – Cand. in Sci, Associate Professor, Head of the Department of Electronic Technics and Technology

Annotation. The results of the review of various designs of ion-beam assisted systems are presented, the principles of operation of such devices, their advantages and disadvantages are considered.

Keywords. Ion sources